



# 北里大学海洋生命科学部だより

No.42

平成28年3月

「平成27年度日本農学賞受賞」

魚類はどのようにして温度変化に  
適応しているのでしょうか…………… 渡部 終五

「平成27年度水産学技術賞受賞」

麻痺性貝毒簡易分析法の開発…………… 佐藤 繁

「平成26年度マリンバイオテクノロジー学会論文賞受賞」

二酸化炭素を捕捉する生体分子  
-ポリアミン-…………… 安元 剛

シーラカンスはじめました…………… 池田 大介

海洋実習体験記…………… 五十嵐あやめ

海洋実習体験記…………… 尾崎 陽一

サンゴはパートナーである褐虫藻を  
どのように獲得するのか?…………… 竹内 亮太

ネットの目をロボットの目に代えて  
～深海性脆弱生物の調査と画像技術の応用～  
…………… 梅津 弥子

深海性二枚貝シロウリガイ類と  
共生細菌の共進化の解明…………… 小澤 元希



新たに発足した三陸臨海教育研究センター SERC (右下)  
SERCにおける海洋実習 (左上：練習船乗船, 右上：プランクトン採集, 左下：磯採集)

「平成27年度日本農学賞受賞」

# 魚類はどのようにして温度変化に 適応しているのでしょうか

応用生物化学講座  
資源化学研究室  
教授  
渡部終五



魚類は外界の温度の変化に合わせて体温が変化します。このように外界の温度に合わせて体温が変化する動物を変温動物といいます。魚類は典型的な変温動物なのです。現在、地球規模の温暖化が進んでいますが、私たちの回りの魚類はこのような温暖化の影響をどのように受けているのでしょうか。また、水の中の変温動物は将来どのように変化するのでしょうか。生息する場所が変わってしまうのでしょうか。結論を言えば変わるものと変わらないものがありそうです。その理由は、魚類には広い温度帯で生息できる広温度域性のものと、狭い温度帯にしか生息できない狭温度域性のものがあるからです。魚類は一般的には生息できるある程度の温度域がありますが、その温度域が狭いものは自分に適した温度を探して移動します。世界中どこでもつながっている海の魚類はこの移動が可能です。最近、ブリが北海道でもたくさんとれて話題になっていますが、ブリはもともと本州でたくさんとれる魚です。わが国周辺の海水温度が上昇したために、このような現象が起きたものと考えられています。それでは池や沼にいるコイ、フナ、メダカなどの淡水魚はどうなのでしょう。彼らは夏の30℃以上から冬の0℃近くまで、30℃ほどの幅で変化する水温でも生き続けています(図1)。これらの魚類の体温も当然同じ30℃以上の幅で変化するのです。生体内の代謝は化学反応で行われており、私たち人間は36℃前後の体温でいつも維持されているので、代謝が一定に保たれているのは良く理解できます。風邪で1~2℃でも体温が上昇すると熱が出て体がだるくなってしまいます。それではコイやフナなどはどうなっているのでしょうか。公園にいる魚をみれば良くわかります。さすがに冬は泳ぎが鈍くなりますが、1年中、泳いでいる姿を見かけます。彼らは広温度域性魚類と呼ばれるものの仲間です。ひょっとしてこの温度適応の機構がわかると、地球規模の温暖化が水生生物に及ぼす影響を理解したり、水生生物の今後の変化がわかるかも知れません。もちろん、私たち人間がなぜ温度変化に弱いのかの理由もわかるかも知れません。

私たちは広温度域性淡水魚を対象に、なぜ、水温の季節変化の大きい池や沼で泳ぎ続けることができるのか、その理由を調べてきました。泳ぎも運動の一種で、筋肉を使っています。筋肉にはミオシンとアクチンと呼ばれるタンパク質があり、主にこの二つのタンパク質がATPと呼ばれる生体内のエネルギー物質を使って(分解して)相互作用して筋肉が運動することができます。し

たがって、当然、これらのタンパク質が変化することでコイなどが高温でも低温でも泳ぐことができるようになることが予想されます。そこで私たちはコイを10および30℃で1ヶ月以上飼育して、筋肉からミオシンを取り出してみました。次に、このミオシンのATPを分解する能力を調べてみたところ、同じ反応温度では10℃で飼育したコイが30℃で飼育したコイより1.5~2倍高いことがわかりました。このことは10℃で飼育したコイは10℃といった低温でもATPを良く分解してアクチンと相互作用し、泳ぐことができることを示唆しています。ご存知のように、タンパク質は遺伝子情報に基づいて生体内で合成されます。それではミオシンは高温で発現する遺伝子と、低温で発現する遺伝子といったように複数の遺伝子から合成されるのでしょうか。答えはYesです。私たちはミオシンを合成する主要な遺伝子をコイでは3個、メダカでは11個も見つけました。結局、これらの遺伝子を使い分けて0℃~30℃の広い温度帯で泳ぐことがわかりました(図2)。この発見は、魚類が生



図1. 錦鯉の冬季の水槽での飼育(新潟県長岡市山古志)。

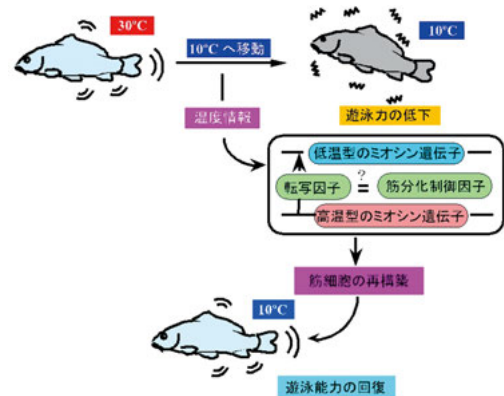


図2. コイの遊泳運動の温度適応分子機構。

体内のタンパク質あるいは遺伝子がどのようにして進化させて生命を維持してきたのか、その一端を明らかにしたものです。また、紙面の関係からここでは詳しくは説明できませんが、このような筋肉の変化が食べ物としての魚にも大きな影響を与えることも明らかにしました。また、魚類を養殖するときの水温の重要性も再認識させるものでした。このことから日本農学会から平成27年

度日本農学賞を受賞しました。しかし、水温の情報が、どのようにして遺伝子が閉じ込められている魚類の細胞核まで到達して、ミオシン遺伝子の発現調節にまで至るのか、その機構は未だわかっていません。この中に私たちが望んでいる、地球温暖化が生物にどのような影響を及ぼすのかを予測、解明するヒントが隠されているかも知れません。

## 「平成27年度水産学技術賞受賞」

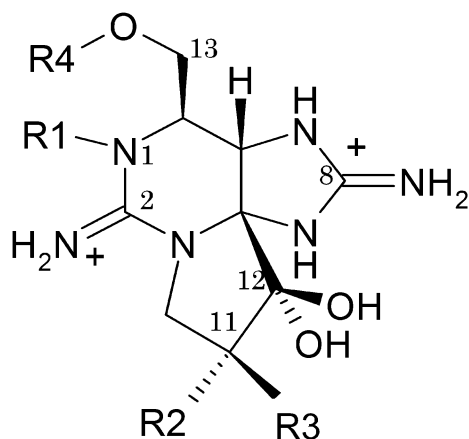
# 麻痺性貝毒簡易分析法の開発



応用生物化学講座  
生物化学研究室  
教授  
佐藤 繁

麻痺性貝毒は致死性が高く最も危険な貝毒です。貝類を食用とする各国では、貝の毒性をマウス試験法により監視し、毒化貝の市場への流入を防いでいます。この方法は実験用マウスと注射器、致死時間を測定するためのストップウォッチさえあれば、台所でも貝の毒性を定量分析することができる優れた方法です(マウスや猛毒を含む貝を台所で扱うことに異存なければの話ですが)。一方でこの方法には、食の安全性を確保するために哺乳動物の生死をもって判別しなくてはならない、という倫理的問題が伴います。麻痺性貝毒は20を超えるサキシトキシン(STX)類縁体の総称で、原因藻や毒化貝には通常、これらのうちの複数の成分が含まれます(図)。HPLC法やLC-MSなどの機器分析は、これら毒成分を個々に高い精度で定量分析します。これら機器分析は得られる情報量が多く、研究面で欠くことのできない手法ではありますが、コストと手間を考えるとマウス試験の代替とするには大がかりすぎるかも知れません。

もう少し簡単に、麻痺性貝毒を定量する手段はないのでしょうか? 酵素免疫測定法(ELISA)法はその第1候補です。ELISAには、分析する目的成分に対する抗体が必要となります。麻痺性貝毒のような低分子化合物(ハプテン抗原)に対する抗体を作るには、これをタンパク質などのキャリア分子に共有結合した複合体を動物に免疫する必要があります。これまで開発されてきたELISAは、1970年代に開発された方法を用いてSTXのグアニジノ基やカルバメート側鎖上の窒素原子を、アルデヒドを介してタンパク分子上のアミノ基と架橋した抗原に基づいて作製されています。このような抗原を免疫したウサギなどから得られた抗体は一部の毒成分しか認識しないので、出来上がったELISAはあまり使い勝手が良くないものとなってしまい、このことがELISAの普及を阻む要因となってきました。



略称*	R1	R2	R3	R4
		(11 $\alpha$ )	(11 $\beta$ )	
STX	H	H	H	CONH <sub>2</sub>
dcSTX	H	H	H	H
neoSTX	OH	H	H	CONH <sub>2</sub>
GTX1	OH	OSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H	CONH <sub>2</sub>
GTX2	H	OSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H	CONH <sub>2</sub>
GTX3	H	H	OSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CONH <sub>2</sub>
GTX4	OH	H	OSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CONH <sub>2</sub>
dcGTX2	H	OSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H	H
dcGTX3	H	H	OSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H
GTX5(B1)	H	H	H	CONHSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
GTX6(B2)	OH	H	H	CONHSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
C1	H	OSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H	CONHSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
C2	H	H	OSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CONHSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
C3	OH	OSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H	CONHSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
C4	OH	H	OSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CONHSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>

図 主要な麻痺性貝毒成分の構造

\* STX サキシトキシン、dcSTX デカルバモイルサキシトキシン、GTX ゴニオトキシン

我々の研究室では、児玉正昭教授(現名誉教授)のご指導の下で長年、麻痺性貝毒の代謝、およびその他の研究に携わってきました。その過程で、11位に硫酸エステルを持つゴニオトキシン(GTX)群の毒成分に様々なチオール化合物(SH基を持つ化合物)が作用して、これをSTXなどの成分に還元する反応機構を明らかにしました。この反応には11位でGTX群の硫酸エステルがチオールと置き換わった安定な反応中間体が形成されます。このことを利用すると、適当なチオール化合物を架橋剤として選択することにより、毒分子をほぼ自由自在に様々な化合物と結合させることができます。アルデヒドを用いる上述の方法とは異なり、タンパク分子上を覆い尽くすように、あっちに向いたりこっちに向いたりすることなしに毒分子が整列して結合した抗原を作ること

が可能となります。このような抗原を免疫すると、ほぼ全ての毒成分に親和性を示す抗血清が得られます。依然としてN21位の硫酸基の有無やN1位の異同は新しく作製した抗体の親和性に大きく影響しますが、前者は既知の希塩酸中処理により、後者は新発見のヘムを触媒とする還元変換により、それぞれ対応するカルバメート型/N1-H型の成分に変換する検液の前処理を導入することで、全ての毒成分をほぼ同感度で検出するELISAキットを組み立てることに成功しました。本キットは現在、新日本検定協会から市販され、試験研究分野で活用されています。なお、本研究によって公益社団法人日本水産学会より、平成27年度水産学技術賞を受賞しました。学部・研究科でプロジェクトに参加していただいた卒業生の皆様に、厚く御礼申し上げます。

## 「平成26年度マリンバイオテクノロジー学会論文賞受賞」 二酸化炭素を捕捉する生体分子 ーポリアミンー

応用生物化学講座  
資源化学研究室  
講師  
安元 剛



### はじめに

マリンバイオテクノロジー学会が発行する学会誌 *Marine Biotechnology* に掲載された以下の論文が、平成26年度マリンバイオテクノロジー学会論文賞を受賞することが出来ましたのでご報告させていただきます。この論文を発表するにあたりご協力賜りました皆様に心より感謝申し上げます。執筆の機会を頂きましたので、共著者を代表して内容の紹介をさせていただきます。

受賞論文: Biogenic polyamines capture CO<sub>2</sub> and accelerate extracellular bacterial CaCO<sub>3</sub> formation, Ko Yasumoto, Mina Yasumoto-Hirose, Jun Yasumoto, Ryo Murata, Shun-ichi Sato, Megumi Baba, Kanami Mori-Yasumoto, Mitsuru Jimbo, Yasukatsu Oshima, Takenori Kusumi, and Shugo Watabe, *Marine Biotechnology*, 16, 465-474, 2014.

### 海は巨大なCO<sub>2</sub>貯蔵庫

海水にはカルシウム(Ca)が多く含まれており、貝やサンゴなどはこのCaを利用して炭酸カルシウム(CaCO<sub>3</sub>)の骨格をつくります。海洋生物が作ったCaCO<sub>3</sub>は長い年月をかけて石灰岩などの炭酸塩堆積物となります。この炭酸塩堆積物は地上に限らず海底にも存在し、その総量は大気中にあるCO<sub>2</sub>の約3万倍にも上る膨大な量です。ご存じのとおり、CaCO<sub>3</sub>の中には二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)が閉じ込められていますので、炭酸塩堆積物は巨大なCO<sub>2</sub>貯蔵庫と言い換えることもできます。しかし、海洋生物の

CaCO<sub>3</sub>形成機構は未だ明らかにされておらず、CO<sub>2</sub>をどのように取り込むかも結論は出ていません。この謎を明らかにすることは地球の炭素循環の正確な理解に繋がると期待できます。

### 海洋細菌がつくるCaCO<sub>3</sub>顆粒

ある種の海洋細菌は、Caを含む培地上で菌体外に特徴的な形状をしたCaCO<sub>3</sub>顆粒を形成します(図1A)。この海洋細菌によるCaCO<sub>3</sub>顆粒形成は、特定の菌種が有する代謝機構が関与していると推定されていますが、その詳細は未だ明らかになっていません。そのため、海洋細菌のCaCO<sub>3</sub>形成機構の解明を目的として研究を開始しました。まず、深海熱水噴出孔付近や熱帯の海洋生物より多くの海洋細菌を単離して調べたところ、 $\alpha$ および $\gamma$ -プロテオバクテリア、バチルス属または放線菌といった広範な菌種でCaCO<sub>3</sub>顆粒形成を確認することが出来ました。このCaCO<sub>3</sub>顆粒形成は、増殖が活発な菌種で顕著であり、空気とより接触するような条件で促進されることもわかりました。これらの結果から、細菌の代謝物中に空気中のCO<sub>2</sub>を培地中に取り込む物質が存在しているのではと考えました。

### ポリアミンはCO<sub>2</sub>を捕捉しCaCO<sub>3</sub>形成を促進する

火力発電所などでは、排ガス中に含まれるCO<sub>2</sub>回収に合成アミン化合物が利用されているため、生体アミンがCO<sub>2</sub>を培地中に溶かし込んでいるのではと考え、ポリアミンという生体物質に着目しました(図2)。ポリアミンは分子内に複数のアミノ基をもつ低分子化合物の総称で、

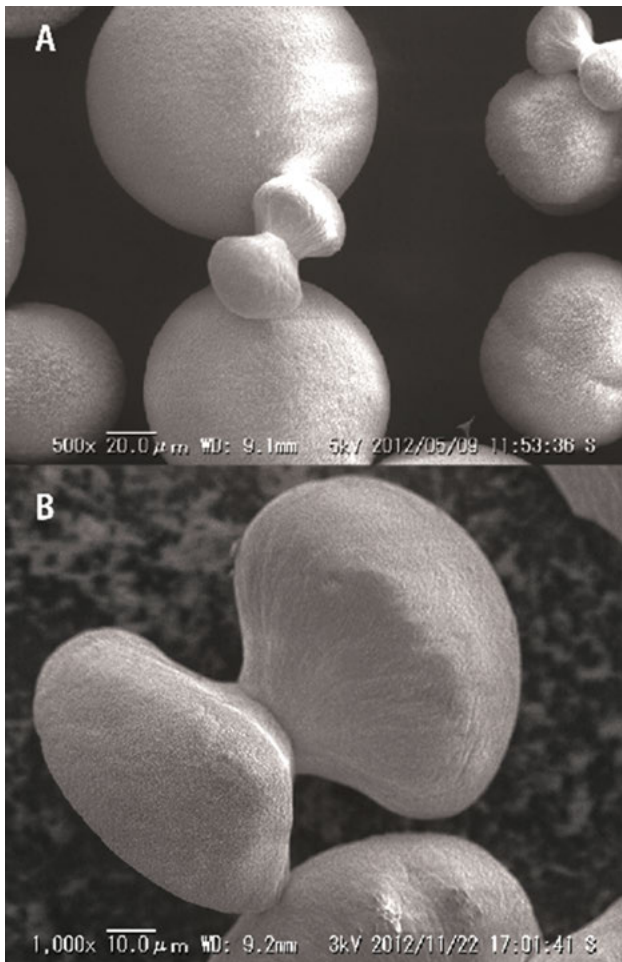


図 1. CaCO<sub>3</sub> の電子顕微鏡写真.  
A) 海洋細菌の CaCO<sub>3</sub> 顆粒.  
B) 人工的に再現した CaCO<sub>3</sub> 顆粒.

全生物の生体内に普遍的に存在します。対数増殖期の細菌や癌細胞など、活発に増殖している細胞内では特に高濃度(数百 $\mu$ M～数十mM)で存在し、「普遍的かつ高濃度で存在する」という点で他の生体アミンとは異なります。このポリアミンを海水程度のCaを含む水溶液に添加したところ、暫くして多量のCaCO<sub>3</sub>沈殿が生じました。何が起きたのかを検証するため、核磁気共鳴装置(NMR)を用いて、水溶液中のポリアミンの動態を継時的に調べました(図3)。その結果、末端のアミノ基がCO<sub>2</sub>と徐々に反応してカルバメイト誘導体となり、水和して溶液中の炭酸イオン濃度が上昇し、CaCO<sub>3</sub>結晶が生じたことがわかりました。また、分子内に複数のアミノ基を有するポリアミンが効率よくCO<sub>2</sub>を取り込み、その最適温度が30～40℃であることもわかりました。さらに、反応液中にマグネウムと培地成分を添加することで海洋細菌が作るCaCO<sub>3</sub>顆粒を人工的に再現できました(図1B)。先に述べた通り、細菌はポリアミンを多量に生産することが知られています。細菌のコロニー付近でCaCO<sub>3</sub>顆粒が生じることから、細菌の産生したポリアミンがCaCO<sub>3</sub>顆粒形成を引き起こしていると考えられます。

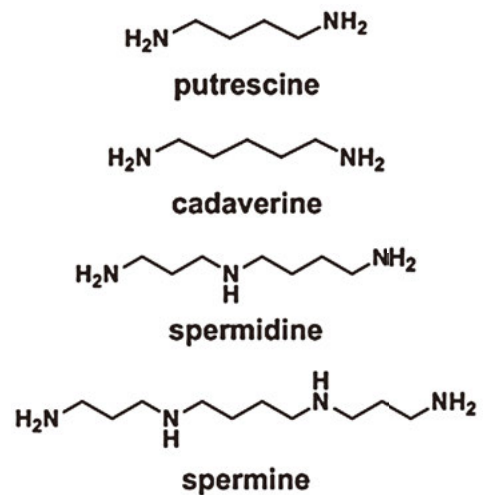


図 2. 生体ポリアミン

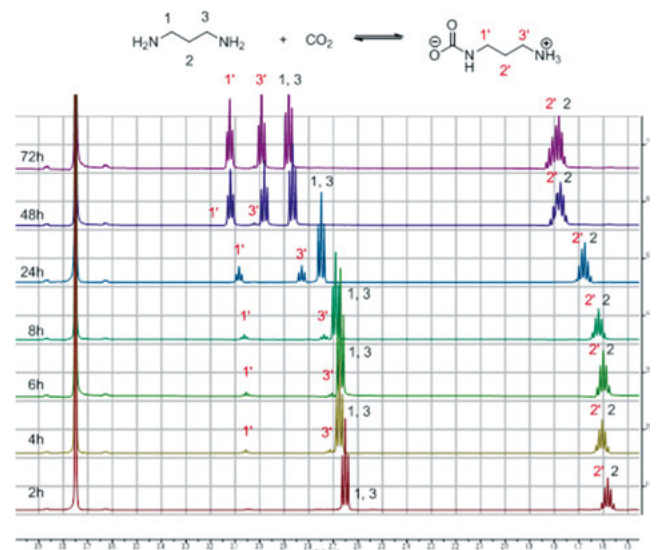


図 3. 室温での 1,3-propanediamine と CO<sub>2</sub> の反応を 72 時間観察した <sup>1</sup>H-NMR スペクトル. 徐々に CO<sub>2</sub> と結合する様子がわかる.

### 今後の展望

冒頭で述べた炭酸塩堆積物やサンゴなど大きな骨格を有する海洋生物は温暖な地域に分布しており、ポリアミンによるCO<sub>2</sub>取り込みの最適温度と一致します。そのため、海洋生物の骨格形成にもポリアミンは関与しているのではと考えています。また、この方法を利用すると海水を原料に人工的にCaCO<sub>3</sub>を製造でき、大気中のCO<sub>2</sub>固定法の開発に繋がるのではと期待しています。さらに、光合成においてもCO<sub>2</sub>の取り込みは重要であるため、ポリアミンの光合成への寄与も今後明らかにしていきたいと考えています。

### 最後に

この研究は2010年に北里大学海洋生命科学部に着任後に始めたもので、海洋生命科学部の皆様の助け無くしては存在せず、この場をお借りして御礼を申し上げます。今後も北里大学海洋生命科学部に少しでも貢献できるよう日々精進して参りたいと思いますので、ご指導ご鞭撻のほど何卒宜しく申し上げます。

# シーラカンスはじめました



応用生物化学講座  
食品化学研究室  
講師  
池田大介

私はこれまで一貫して、「サカナ」の筋肉に関する研究を行ってきました。対象としてきた魚種を列挙していくと、トラフグ、ゼブラフィッシュ、メダカ、ヤツメウナギなどが挙げられます。最近、研究対象としてきた「サカナ」の中に、シーラカンスが仲間入りしました。あの、生きた化石と言われるシーラカンスです。ただし、未だ本物のシーラカンス自体を目の当たりにしたことはありませんし、触ったこともありません。だけど、私はシーラカンスを使って研究をしているのです。

## 「サカナ」って何？

ところで、サカナ、すなわち「魚類」の定義をご存知でしょうか。時々、スーパーの鮮魚コーナーにクジラの肉が売っていますが、無論、クジラはサカナではなく哺乳類、さらに広く言うと四足類というグループに属しています。本学部の三陸臨海教育研究センター近くのスーパーには、殻付きのホヤがよく売っていますが、ホヤは尾索動物というグループに属し、無論サカナではありません。学術的には、「脊椎動物から四足類を引いたグループが魚類(サカナ)である」と定義することが出来ます(図1)。この定義に基づくと、マアジやサンマなど鮮魚コー

ナーではお馴染みのものだけでなく、顎(アゴ)のない脊椎動物(無顎類)のヤツメウナギも、シーラカンスも立派なサカナの仲間です。ここで注意していただきたいのが、「硬骨魚類」という言葉の定義です。サメやエイなどの軟骨魚類に対してマアジやサンマを硬骨魚類と表現することがよくありますが、分類学的には我々ヒトだって硬骨魚類のグループに属しています(図1)。我々ヒトは、脊椎動物であり、硬骨魚類であり、肉鰭類であり、四足類であり、哺乳類であり、さらに言うならば霊長類というグループに属しています。

## シーラカンスのゲノム

2001年2月にヒトゲノムのドラフト(概要)配列が公開されて以来、様々な生物のゲノムが解読されてきました。ちなみに、脊椎動物でゲノムが解読された2番目の生物は「トラフグ」です(2001年10月)。トラフグはゲノムサイズ(ATGCの塩基配列の長さ)が脊椎動物の中では小さいということで、初期ゲノム解読の対象とされたそうです。解読されたゲノム配列の多くは、インターネット上に無償で公開されており、すなわち、コンピュータとインターネットが繋がる環境があれば、い

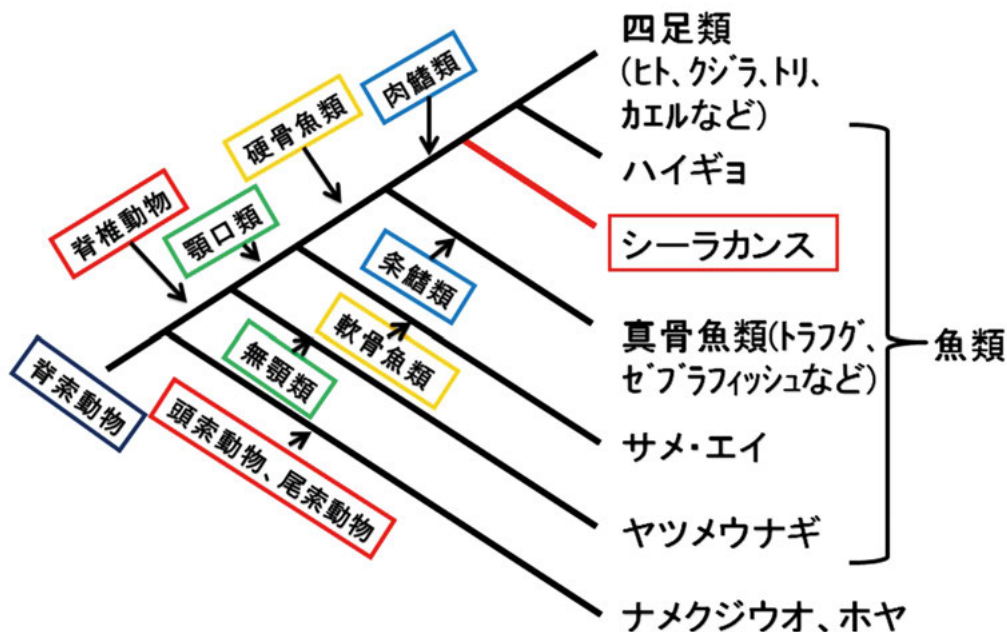


図1. 脊索動物の簡略化した系統樹

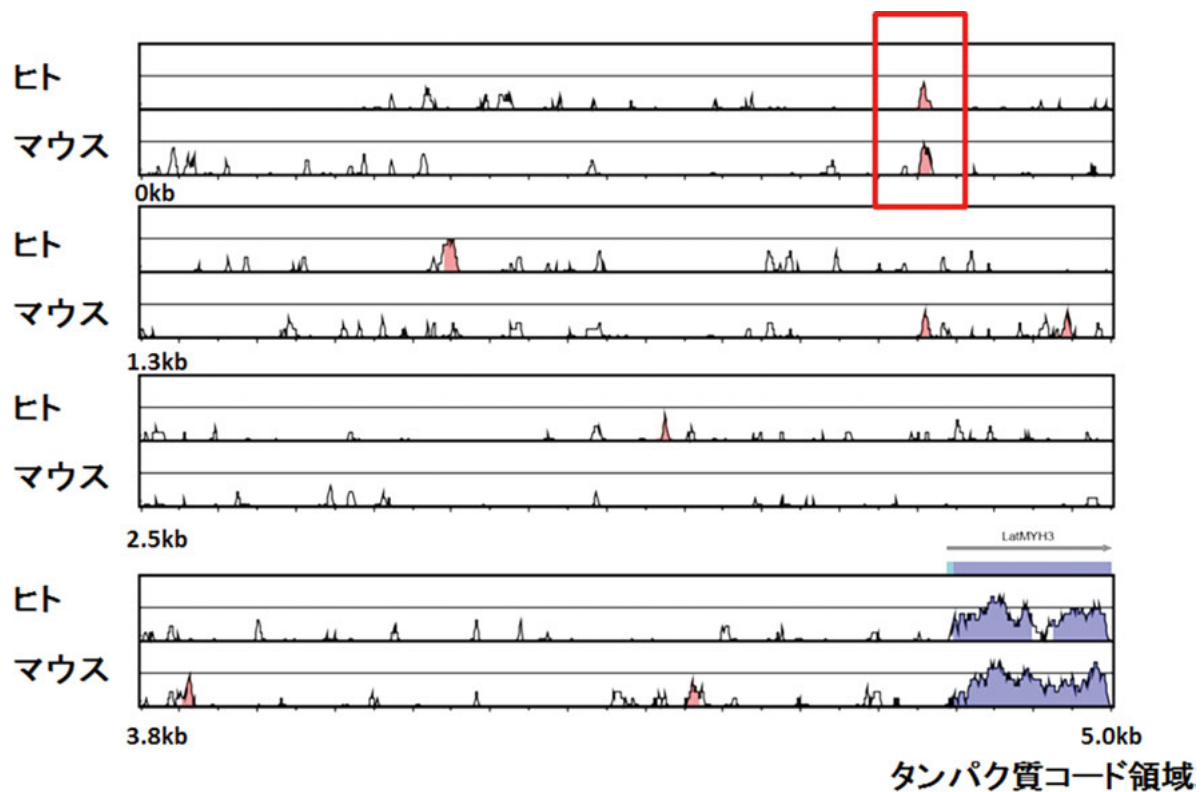


図2. シーラカンス、ヒトおよびマウスで共通する調節領域の配列  
 シーラカンスを基準に、ヒトおよびマウスのミオシン重鎖遺伝子調節領域と比較した。塩基同一率を%で示している。青いピークのタンパク質コード領域以外にも、塩基同一率が高い領域が散見される(赤いピーク)。赤い四角で囲った部分の配列が3種間で共通する配列。

つでもどこでも誰でも「ゲノム研究」を行うことが出来るのです。シーラカンスのゲノム配列も、2013年に日本および米国の2グループよりそれぞれ解読され、インターネット上に公開されています。シーラカンスを捕まえることは大変ですが、シーラカンスのゲノム配列を使うことは、誰でも出来るのです。

### ゲノムとゲノムを比較する

私はサカナの筋肉の「ミオシン重鎖」というタンパク質に注目して研究を行っています。シーラカンスのゲノム配列から、このミオシン重鎖の遺伝子を探しました。インターネットの情報検索のように、ゲノム配列から目的とする遺伝子を見つけ出すことが出来ます。探索した遺伝子を調べたところ、「真骨魚類」よりも「四足類」に似ていました。図1からわかるように、シーラカンスはマジヤサンマよりも我々ヒトの属する四足類とやはり近縁なのです。つづいて、この遺伝子の調節領域の働きについて調べました。ゲノムには、タンパク質の設計図を含む遺伝子領域のほかにも、個々の遺伝子がいつ、どこで、どれくらい発現するのか、といった情報を制御する調節領域が含まれています。通常、調節領域は遺伝子の直前に存在することがわかっているため、シーラカンスの遺伝子の直前約5000塩基をヒトおよびマウスと比較しました。すると、約20塩基の配列がシーラカンス、ヒトおよびマウスの3種間でよく似ていることがわかり

ました(図2)。ヒトとマウスの共通祖先が分岐したのが0.8億年前に対し、四足類とシーラカンスの共通祖先は3.6~3.8億年前に分岐したと考えられています。約4億年という永きにわたって保持されている配列ですから、何か重要な機能があるに違いありません。そこでこの配列を取り除いた調節領域の筋肉細胞における活性を調べたところ、取り除いていないものと比べて半分以下になることがわかりました(図3)。このように異なる種のゲノム配列を比較する研究を「比較ゲノミクス(ゲノム学)」といいます。シーラカンスは比較ゲノミクスの大変よい対象となりそうです。

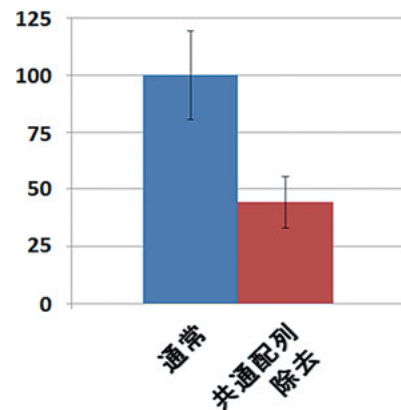


図3. 3種間の共通配列が遺伝子調節におよぼす影響  
 図2の赤い四角で囲った配列を除去すると、筋肉細胞内における遺伝子調節活性が半分以下になった。

# 海洋実習体験記

海洋生命科学部2年  
五十嵐あやめ

2015年6月下旬、私は神鷹丸という練習船で3泊4日の実習を行った(写真1)。今回、私とその神鷹丸で何を見て、経験し、学んだのかについて記して行きたいと思う。

初日は、乗船後、船内諸注意の確認やベッドメイクから始まり、出港式や退船訓練を行い出港した。レインボーブリッジを下から見たり、海上からお台場を見たりと最初から初めて尽くしだった。夜は館山沖で釣り実習を行った。サバ、アジが大漁だった。その魚は翌日お刺身となって、みんなで美味しく頂いた。2日目は、早起きをして友人たちと朝日を見た(写真2)。この朝日を見たのは私たち4人と数人の船員さんのみだった。あの朝日は陸上では見ることが出来ない特別な景色であった。実習では、ノルパックネットで採集をしたプランクトンを顕微鏡で観察した。揺れる海上での顕微鏡作業は過酷で観察すら難しかったが、しばらくするうちに班員が接眼レンズにスマホを当てて撮影をし始め、結局、楽しみながらプランクトン観察を行った(写真3)。夜は雨が降り、釣り実習ではなく熱海の温泉を楽しむことになった。友人と普段はしないような話をして仲が深まった。3日目は船の揺れがひどく多くの人がダウンしたが、実習ではとても良い経験をした。それは、船橋実習で舵をとること(写真4)、また目視観測(写真5)で周りの状況を双眼鏡で見るといったものであった。「舵をとるということは、その手に60人の命を預けることだ」と船員さんに言われ一人ひとり真剣に、そして慎重に舵をとっていた。夕方は、温泉巡りや釣り実習を楽しんだ。ここもまた美しい景色で、夕日を見ながら釣りをした(写真6)。最終日の朝、早起きをして三崎の市場に行った(写真7)。時



写真1：神鷹丸（東京海洋大学実習船）

間が早いものにも関わらず多くの人が入って活気があった。市場という場所に行くのは初めてで、色々な魚が売られていた。名前が分からない魚がほとんどだったが、売り場にいる人から名前や調理方法など教えていただき勉強になった。

今回の海洋実習では、普段見ることの出来ない景色や作業体験、楽しいこと辛いことなど数多くの経験をした。“海が好き”なことを再確認した4日間だった。本当に貴重で有意義であった。今後どこかで、この神鷹丸で学んだこと、見たこと、感じたことを活かしたいと思う。

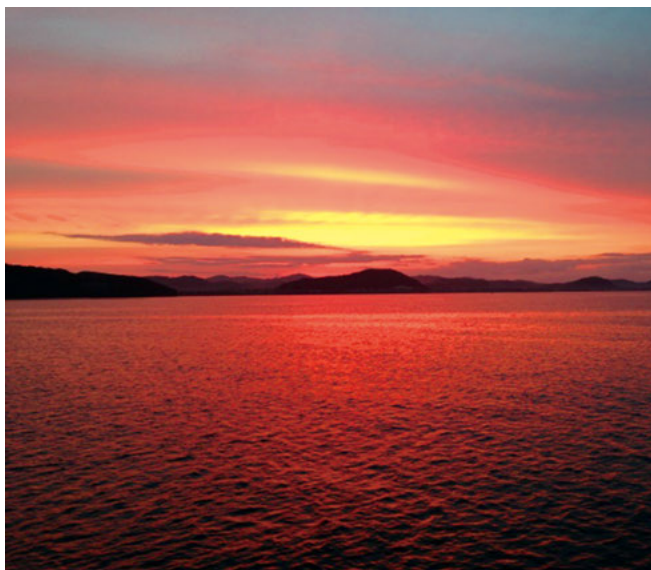


写真2：船上から見た朝日



写真3：プランクトン観察



写真 4：操船実習のようす



写真 5：目視観察のようす

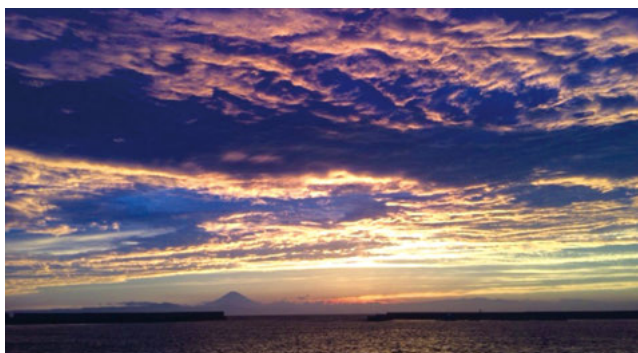


写真 6：船上からみた夕日



写真 7：賑わう三崎の市場

## 海洋実習体験記

海洋生命科学部 2年  
尾崎陽一

2015年8月下旬、横浜国立大学臨海環境センターで1泊2日の臨海生物学実習が行われました。1日目は最寄り駅であるJR真鶴駅に集合し、そこから徒歩で実習施

設へ移動しました。2年生になって初の実習でもあり、友達との道中の会話も弾みました。

施設に到着し、ガイダンス終了後プランクトン採集へ



写真 1：プランクトンネットを持って船へ



写真 2：出港待ち

(写真1)。この日は天候、海況ともに恵まれ、船からの採集ができました。10人ずつ漁船に乗船し、出港して5分程で採集地点へ到着(写真2)。港の目の前であるにも関わらず水深は100mを超えており、改めて相模湾の深さを実感しました。プランクトンネットを用いて浅層と深層のプランクトンを採集しました(写真3)。作業はネットを海へ入れ、採集深度までおろして、しばらくしたら引き上げるという単純なものでした。潮の流れもあり、プランクトンネットを手繰り寄せるのは良い筋力トレーニングになりました。採集後、実習施設へ戻り、顕微鏡を用いてプランクトン観察と種同定(図鑑を用い生物の外的特徴から種を特定すること)を行いました。また、他のグループが採集に行っている時間に実習室にて

ロープワークを行いました。やってみると思いのほか簡単で、釣り好きの私にとって実用的なものばかりでした。夜には先生がたとバーベキューで盛り上がりました。

2日目は朝食をとった後、磯採集を行いました。この日は海況がすぐれず波の被らない安全な場所での採集となりました。カニや海藻などそれぞれが思い思いに採集し、午後には採集した生物の観察と種同定を行いました(写真4)。

大学の講義で得られる海洋や海洋生物とそれらを利用する水産の知識、情報も大切ですが、今回の実習では、海に直接行って体験することも大切だなと感じました。先生がたのおかげで相模原ではなかなか学ぶことのできない自然に触れるという貴重な経験ができました。この経験を今後に生かしていきたいと思います。



写真3：採集したプランクトン



写真4：磯採集にて採集した生物

## 2年次の海洋実習

	実習コース(実施場所)	実施日	参加学生数
A群	1) 臨海生物学実習 三陸臨海教育研究センター	第1グループ 8月17日(月)～19日(木) 2泊3日 (宿泊：同センター)	30名
		第2グループ 8月19日(水)～21日(土) 2泊3日 (宿泊：同センター)	26名
	2) 臨海生物学実習 横浜国立大学臨海環境センター	第1グループ 8月27日(木)～28日(金) 1泊2日 (宿泊：同センター)	30名
		第2グループ 8月29日(土)～30日(日) 1泊2日 (宿泊：同センター)	30名
	3) 臨海生物学実習 江ノ島 横須賀市自然・人文博物館 天神島臨海自然教育園	1日目：地引き網実習 6月21日(日)日帰り1日	35名
		2日目：海岸生物観察 8月18日(火)日帰り1日	
4) 臨海生物学実習 江ノ島 水研センター横須賀庁舎	1日目：地引き網実習 6月21日(日)日帰り1日	35名	
	2日目：海岸生物観察 8月18日(火)日帰り1日		
B群	1) 洋上実習 おしよ丸：北海道大学	12月17日(木)～20日(日) 3泊4日	59名
	2) 洋上実習 勢水丸：三重大学	12月8日(火)～20日(土) 3泊4日	19名
	3) 洋上実習 かごしま丸：鹿児島大学	12月8日(火)～20日(土) 3泊4日	39名
	4) 洋上実習 神鷹丸：東京海洋大学	6月25日(木)～28日(日) 3泊4日	40名
	5) 淡水生物学実習 神之川キャンプマス釣り場 神奈川県水産技術センター 内水面試験場	1日目：釣り実習 8月5日(水)日帰り1日	7名
		2日目：アユ実習 10月9日(金)日帰り1日	
6) 河川調査実習 上大島キャンプ場 神奈川県環境科学センター 相模川水系河川	1日目：屋外研修 6月28日(日)日帰り1日	19名	
	2日目：屋内研修 7月5日(日)日帰り1日		
	3日目：河川調査実習 7月12日(日)日帰り1日		

# サンゴはパートナーである褐虫藻を どのように獲得するのか？

応用生物化学講座  
資源化学研究室  
博士後期課程2年  
竹内亮太



私が所属する資源化学研究室は、サンゴやクラゲなどの無脊椎動物に含まれる生理活性物質の機能を解明することや、エゾイソアイナメやホタテなどの魚介類の生理や特性を明らかにすることで、海洋生物の利用や保全を行うことを目指しています。これらの幅広い対象生物のうち、私はウスエダミドリイシというサンゴを研究材料とし(図1a)、サンゴと褐虫藻の共生確立に関わる物質の研究を行っています。

熱帯・亜熱帯海域に広がるサンゴ礁には多種多様な生物が暮らしています(図1b)。このサンゴ礁の豊かな生

態系を支えているのは、サンゴであると言われています。多くのサンゴは、褐虫藻という光合成を行う植物プランクトンと細胞内共生しています(図1c, d)。褐虫藻が生産する光合成産物は、サンゴの栄養となるだけでなく、身を守るための粘液にもなります。この粘液の一部は他の生物の餌として利用されることにより、サンゴ礁に住む生物を支えています。以上のように、サンゴ礁においてサンゴは非常に重要な役割を果たしています。

ニュースで耳にしたことがあるかもしれませんが、サンゴ礁ではしばしばサンゴの白化現象が見られます。こ

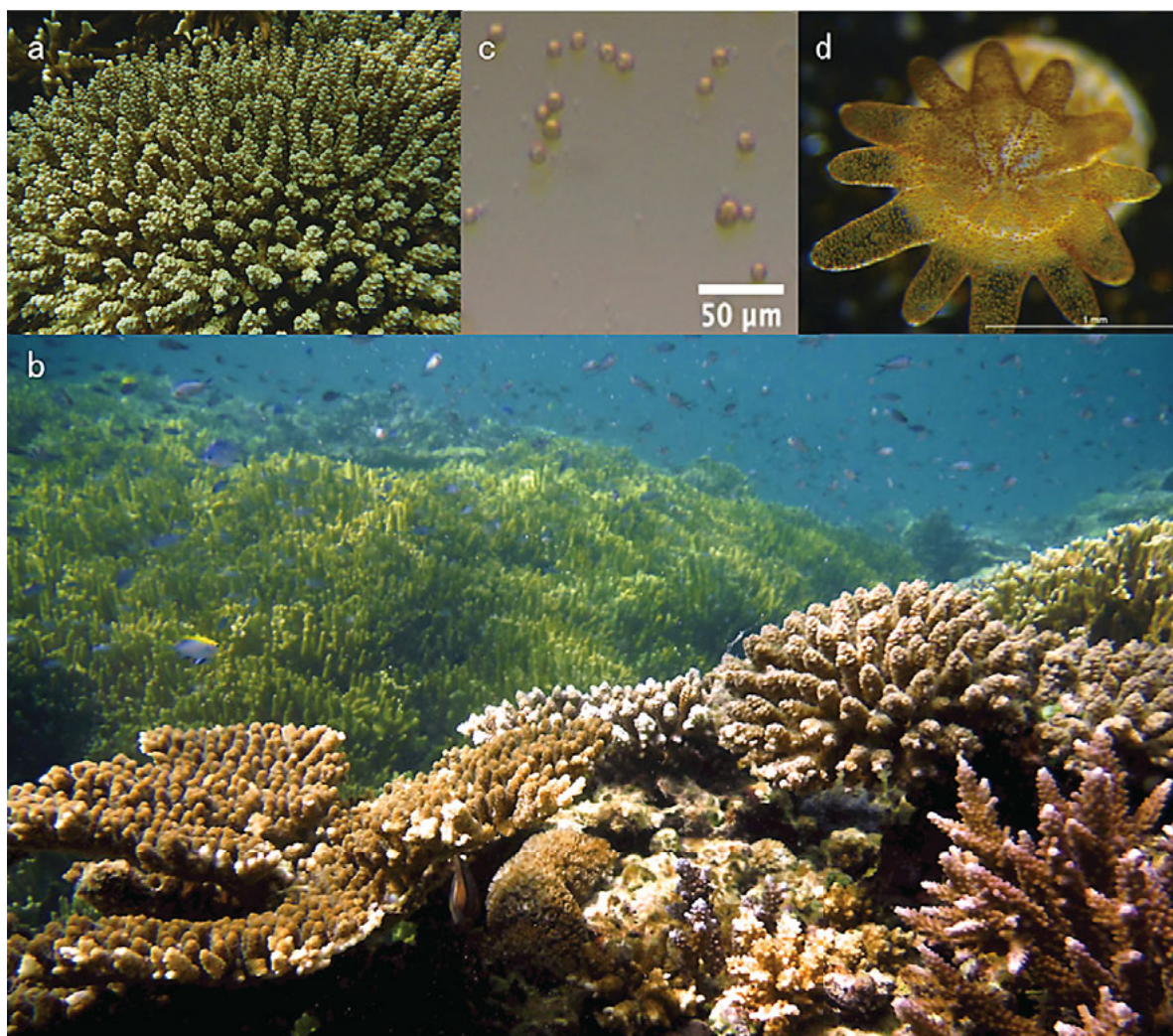


図1. 研究材料およびサンゴ礁の様子

- a: 本実験に用いているサンゴであるウスエダミドリイシ。沖縄県で主要なサンゴのひとつである。
- b: 豊かなサンゴ礁。奥に多くの魚がいる。
- c: 褐虫藻の顕微鏡写真。
- d: 褐虫藻と共生したサンゴの幼生。

のサンゴの白化現象は、サンゴから褐虫藻がいなくなることで起こります。白化が進むとサンゴは死んでしまい、最終的にはサンゴ礁の生態系が壊れてしまうことから、サンゴと褐虫藻の共生は非常に重要です。それにもかかわらず、多くのサンゴは受精卵の時点では褐虫藻を持っておらず、幼生の時期に周囲の海水から褐虫藻を獲得しています。今のところ、サンゴはたまたま周囲にいる褐虫藻を獲得していると思われていますが、その獲得機構は未だわかっていません。

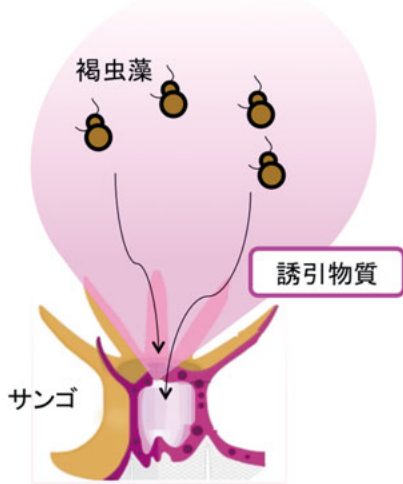


図2. 予想している褐虫藻の誘引機構  
サンゴが誘引物質を体外に放出することで褐虫藻を誘引していると予想される。

サンゴの幼生はほとんど動けないので、私はサンゴが何らかの方法で褐虫藻を誘引していると予想しました(図2)。まず、サンゴに褐虫藻を誘引する物質があるかを検証しました。サンゴの抽出液を含んだキャピラリと海水を含んだキャピラリ(細い管)を褐虫藻が泳いでいる培地に挿入すると、褐虫藻は海水に誘引されませんがサンゴの抽出液には誘引されました。この効果をもつ褐虫藻誘引物質は、細胞表面に結合するタンパク質でした(以下: 誘引タンパク質)。サンゴの幼生に褐虫藻を加えると、褐虫藻がサンゴの幼生に向かって泳ぐ様子が見られましたが、誘引タンパク質の機能を阻害

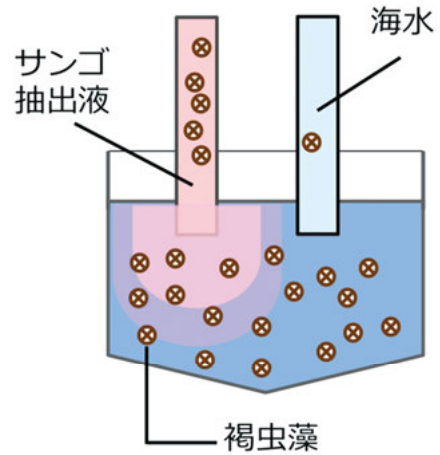


図3. 褐虫藻誘引実験の模式図  
海水を含むキャピラリに比べてサンゴ抽出液を含むキャピラリに褐虫藻が多く入り、サンゴ抽出液に褐虫藻誘引物質が含まれることがわかった。

する抗体を加えると、幼生に向かわなくなりました(図4a, b)。したがって、実際の幼生もこの誘引タンパク質を使っていると思われます。興味深いことに、この誘引タンパク質はサンゴの刺胞という器官に分布していました。刺胞は体外に向かって発射されるので、サンゴは刺胞を発射することで誘引タンパク質を環境中に放出し、褐虫藻を誘引していると考えています。現在は、誘引タンパク質が実際のサンゴ礁においても褐虫藻を誘引するか検討しています。もしかすると、死にかけているサンゴ礁の周辺に誘引タンパク質を散布すれば、褐虫藻が誘引されてサンゴの大量死を防げるかもしれません。

サンゴと褐虫藻の共生確立機構をはじめとして、多くの生命現象は複雑なメカニズムで成り立っています。私の研究はサンゴと褐虫藻の共生確立機構解明への手掛かりでしかなく、さらなる研究が必要です。私の研究がサンゴ礁の維持に少しでも貢献できるように、これからも研究していきたいと思います。あまり知られていませんが、日本は世界でも有数のサンゴ礁を有しています。機会があれば、「海のゆりかご」とも言われるサンゴ礁をその目で見て、その美しさや生物たちの営みを体感してほしいと思います。

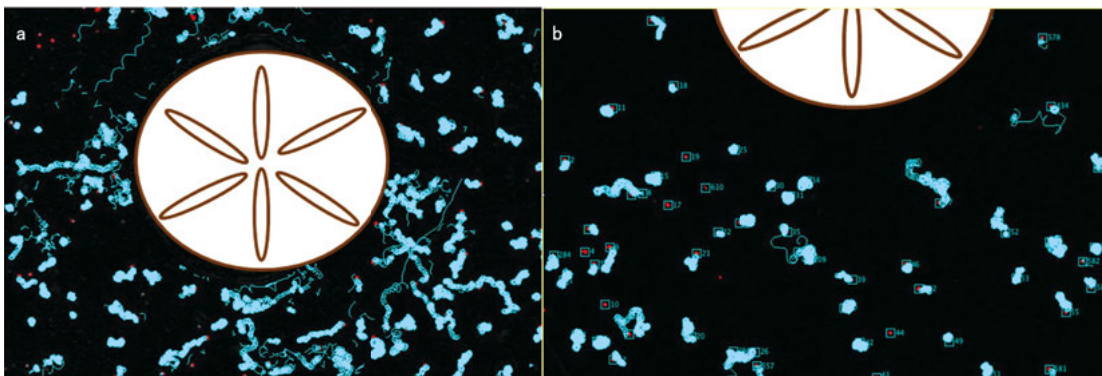


図4. サンゴ幼生に誘引される褐虫藻の様子  
サンゴ幼生(白丸)に褐虫藻が誘引されるところを経時的に観察した。水色の線は褐虫藻の軌跡を表す。  
a: 褐虫藻のみを添加すると幼生に向かって移動した。 b: 誘引タンパク質の機能を阻害する抗体を添加すると、褐虫藻は同じところを回転した。

# ネットの目をロボットの目に代えて ～深海性脆弱生物の調査と画像技術の応用～

深海生物学研究室  
博士後期課程3年  
梅津弥子



現在、私は、本学部が連携大学院講座を設けている、海洋研究開発機構（通称：JAMSTEC）の深海生物学研究室の博士後期課程に在籍しています。指導教員は、オーストラリアから日本に移住して20余年になる Dhugal J. Lindsay 客員准教授です。長年、中・深層性のプランクトン類を研究してきた Lindsay 先生の研究室には、他大の研究生を含む2名が在籍しています。私の主な研究内容は、ROV (Remotely Operated Vehicle) (図1) と呼ばれる遠隔操作式の水中ロボットに搭載されたカメラの画像を主な研究材料として用い、“深海性の脆弱な動物群の分布や生態の詳細を明らかにすること”です。

“脆弱な動物群”とは、その体の構成要素のほとんどが“水”であるゼリーの様な生物のことです。具体的には、クラゲ類・サルパ類・浮遊性のホヤ類などが挙げられ、これらは総称してゼラチン質動物プランクトン (Gelatinous Zooplankton) (図2) と呼ばれています。水深が深く、波や風などの影響を受けにくい静寂の海“深海”に棲むゼラチン質動物プランクトンは、表層性種に比べて著しく脆弱なものが多く、深海性のクシクラゲ類 (有櫛動物門) の中には体の約99%が水であるものもい

ます。一方、海洋生物調査の現場では、ネット (網目状の構造をした採集器具の総称) を船舶などで曳航することにより生物を採集する“ネットサンプリング”が主流とされてきました。“金網にゼリーをぶつけたらどうなるか?”が容易に想像できるように、これらの従来法では、脆弱な生物の形態を保ったまま捕えることは困難でした。そのため、深海性ゼラチン質動物プランクトンは、長い海洋生物研究の歴史の中で、網の“目”をすり抜けてしまった存在となっていました。

ところが、20世紀後半に入ると、ゼラチン質動物プランクトンが深海に卓越した動物群であるということが解ってきました。これは、実際に人が乗って窓から深海を覗くことが可能な有人調査船、あるいは、カメラを搭載した無人探査機のように“深海に直接アプローチできる技術”が普及してきたためです。この深海探査技術が、深海を覗くための新たな“目”となりました。

現代のテクノロジーと先人達の礎をもってして、やっと明らかになってきた深海性ゼラチン質動物プランクトンの存在。しかし、定型化された研究手法が存在しない中で、それらの種数や分布の様式、他生物との関係性や

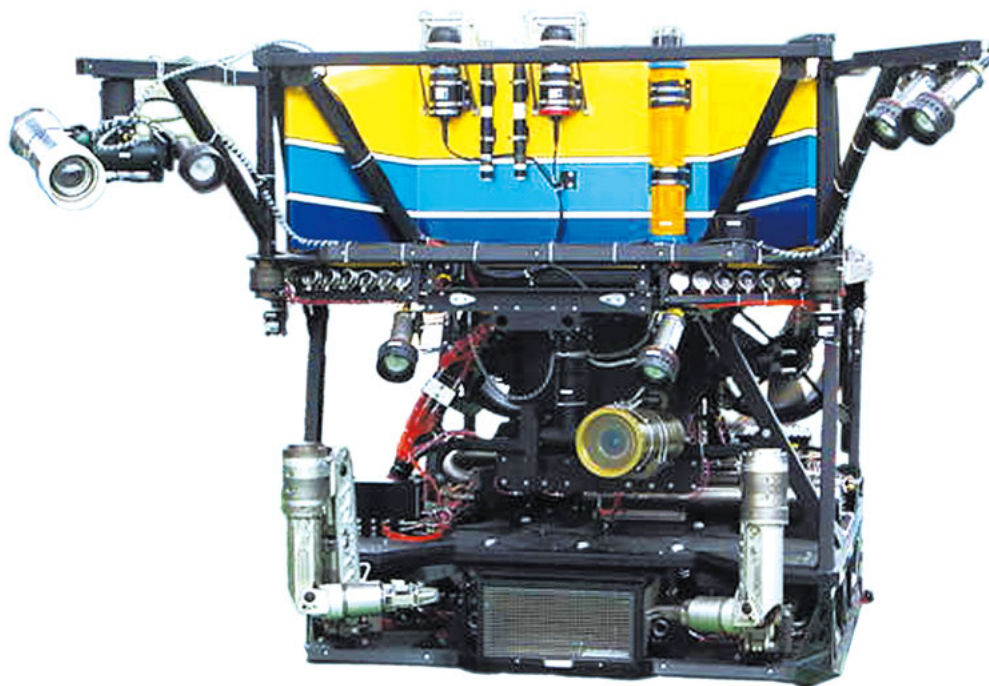


図1. 無人探査機「ハイパードルフィン」。海洋研究開発機構にある探査機の中でも、高解像度映像の撮影に優れています。提供：海洋研究開発機構

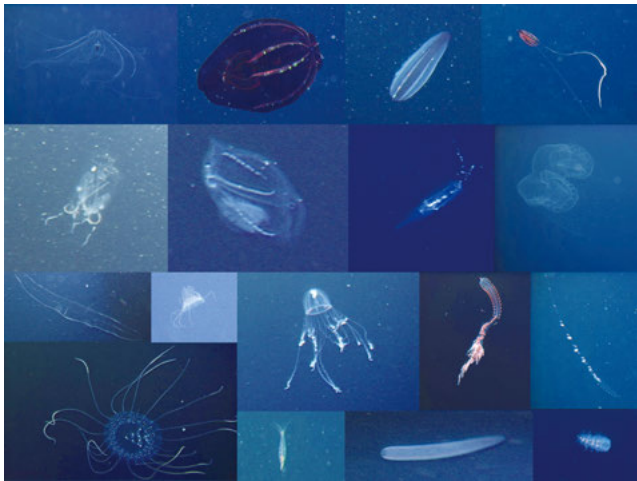


図2. 無人探査機で撮影された、日本近海の中・深層に出現するゼラチン質動物プランクトンたち。

提供：海洋研究開発機構

その役割を解明していくためには、その方法論を開拓しながらデータを蓄積していくことが求められます。さらに、“科学データとしての映像”という認識はまだ低く、この方法論の開拓も自身の研究における大きな課題となっています。

修士課程では、特に脆弱で未記載種が多い“深海性クシクラゲ類の分類と多様性を明らかにする”ため、無人探査機の映像を用いた形態分類学的な研究を行いました。博士課程(長期履修6年計画)では、修士号取得までに培ったゼラチン質動物プランクトンの種同定の知識と探査機映像の解析技術を応用し、海底資源開発調査が期待される海域周辺の“深海性ゼラチン質動物プランクトン類の分布比較とその調査技術開発”という研究テーマに取り組んでいます。また、私が所属する研究チームで、研究支援パートタイマーとして働くチャンスにも恵まれ、超高解像度カメラを搭載した小型の探査機「PICASSO」の開発やその他の調査・解析技術開発にも携わっています。

博士課程における研究成果としては、熱水域に出現するゼラチン質動物プランクトン類の出現に関する論文執

筆に共著者として関わったこと、伊豆小笠原諸島にある2つの深海カルデラ内で特定のクラゲ類が大量発生している現象を明らかにしたことなどが挙げられます。その結果の一部については、国内・外の学会で発表してきました(図3)。また、映像解析の効率性と科学性の向上を図るために考案した映像データ統合および管理の手法は、JAMSTECの学術誌の中で原著論文として掲載されました(2015年3月)。

私生活では、5才になる娘がおり、家族や指導教員をはじめとした周囲の皆様日々支えられながら研究生生活を送っています。北里大学には、四六時中研究と向き合うことが難しい学生の背中を押してくれる“長期履修制度”があります。この制度を利用したことで、JAMSTECという実践的な現場でも“焦らず妥協せず”研究と向き合うことができ、充実した研究生生活を送ることができていると感じています。

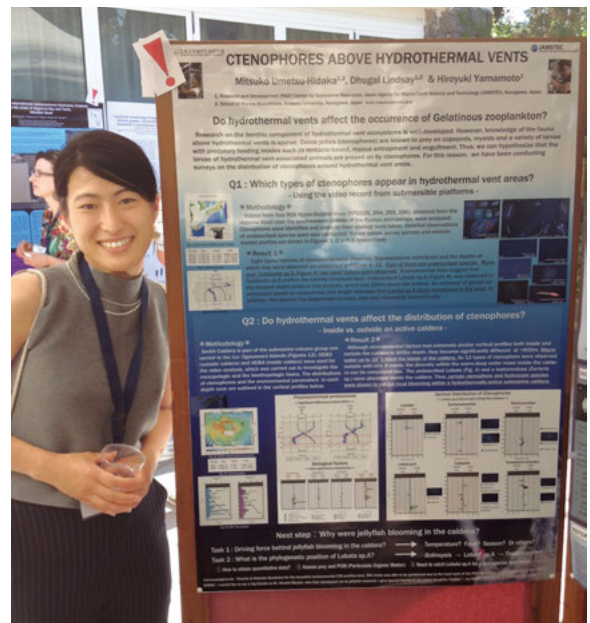


図3. イタリアのイスキア島(ナポリ)で行われた、国際ヒドロ虫学会におけるポスター発表のようす。

## 深海性二枚貝シロウリガイ類と共生細菌の共進化の解明

深海生物学研究室  
博士後期課程3年  
小澤元希



私は大学4年次から連携大学院講座として設置されている国立研究開発法人海洋研究開発機構に出向し、大学院修士課程から深海生物学研究室に所属して現在に至ります。深海生物学研究室では、深海化学合成生態系に生

息する二枚貝類であるシロウリガイ類やシンカイヒバリガイ類を対象に、その細胞内に共生する細菌との共生機構の解明に向けて、日々研究を行っています。

深海は太陽の光が届かない低温で、栄養素が少なく、

生物にとって生存困難な環境です。しかし、深海には化学合成細菌を一次生産者とする化学合成生態系が存在します(図1)。化学合成細菌は海底からの熱水噴出や湧水現象に伴って供給される無機物を用いてエネルギー生産を行い、海水中の無機炭素を使って有機物を合成します。シロウリガイ類やシンカイヒバリガイ類など、噴出口付近に優占的に生息する無脊椎動物の多くでは消化管が退化しています。彼らは自らの鰓組織の細胞内に化学合成細菌(以後、共生細菌と呼ぶ)を共生させ、栄養の全てを共生細菌に依存して生きています。

無脊椎動物と細菌の細胞内共生系を研究する上で、深海化学合成生態系是最適なフィールドです。私は、世界各地の深海熱水噴出域や湧水域で様々な種が発見されているシロウリガイ類と共生細菌の共進化について研究を行っています。最近になって、シロウリガイ類の共生細菌は、鰓組織の細胞内だけでなく、卵巣にも共生していることが確認されました。これはシロウリガイ類の共生細菌が宿主の卵を介して、世代間に渡って垂直的に伝達していることを示唆しています。このことから、シロウリガイ類と共生細菌は共進化したと考えられています。一般的に、共進化を遂げた宿主生物と共生者は、それぞれの系統樹において同じ系統学的位置を示します。しかし、これまではシロウリガイ類と共生細菌の遺伝子情報が限られていたことから、系統樹の解像度が低く、共進化の実態を解明することが困難でした。

私は、宿主であるシロウリガイ類におけるミトコンドリアゲノムの塩基配列、ならびに共生細菌における複数の遺伝子の塩基配列を解読することで遺伝子情報を増やせば、より解像度の高い系統樹が作成でき、シロウリガイ類と共生細菌の詳細な共進化過程を提示できると考えました。そこで、海洋研究開発機構が所有する有人潜水

調査船しんかい6500や無人探査機ハイパードルフィンにより日本周辺や世界各地の深海熱水噴出域や湧水域から採集された12種のシロウリガイ類を対象とし、鰓組織からシロウリガイと共生細菌のDNAを抽出し、遺伝子の塩基配列を解読して分子系統解析を行いました。その結果、12種のうち5種のシロウリガイ類とその共生細菌は同じ系統学的位置を示したことから、共進化したと考えられました。しかし、残りの7種のシロウリガイ類とその共生細菌の系統学的位置は一致しませんでした。これら7種のシロウリガイ類は、系統樹の根の近くに位置していることが確認されました。そして、共進化を遂げなかった共生細菌を細胞内に有していると考えられました。おそらく、環境中あるいは他の宿主シロウリガイ類から共生細菌を水平伝達により獲得し、進化を遂げたのでしょう。このように、解像度の高い系統樹を作成したことで、シロウリガイ類の多様性や共生細菌との共進化の過程を議論することができました。

今後の課題は、種分化が起こった当時の地層情報や共生細菌のゲノム情報をもとに、共生細菌が水平伝達した可能性について議論することです。深海生物学研究室が設置されている海洋研究開発機構は、微生物から深海生物まで幅広い生物を対象として、分類や進化、生態系などの研究を行っている研究機関です。私はここで指導教員の吉田尊雄客員准教授、丸山正客員教授、ドゥーグル・リンズイー客員准教授をはじめ、さまざまな研究者と出会い、議論を重ねて研究に対する考察や姿勢を学び、自身の研究に取り入れてきました。深海の研究は陸上や浅海を対象にした研究に比べて、歴史が浅く研究が始まったばかりです。私は、シロウリガイと化学合成細菌の共進化を解明して、深海研究の発展に貢献したいと考えています。



図1. 初島沖水深860mの湧水域の様子。白い貝の全てがシロウリガイ類。  
提供：海洋研究開発機構

## 1. 海洋実習(1年次)

開催日：平成27年5月2日(月)  
開催場所：新江ノ島水族館、海洋研究開発機構  
参加学生：192名

## 2. 海洋実習(2年次)

海洋実習体験記末尾の表を参照ください。

## 3. 研究会およびシンポジウム

いわて海洋研究コンソーシアム 第1回海洋研究者交流会

開催日：平成27年10月26日(月)～27日(火)  
開催場所：北里大学三陸臨海教育研究センター

第5回北里大学海洋生命科学部・岩手水産技術センター 合同セミナー

開催日：平成28年3月12日(土)  
開催場所：大船渡市民文化会館、大船渡市魚市場

## 研究室名の変更(平成27年4月1日付)

増殖生物学講座

- (旧) 海洋分子生物学研究室  
→ (新) 魚類分子内分泌学研究室
- (旧) 魚類生理学研究室  
→ (新) 水族生理学研究室

環境生物学講座

- (旧) 水圏生物学研究室  
→ (新) 沿岸生物学研究室

## 人事異動【教員】

### ○退職

【平成27年5月2日付】

緒方 武比古(環境生物学講座 環境微生物学研究室 教授)

昭和51年5月1日入職

(※退任後も副学長として在籍)

【平成27年3月31日付】

鈴木 文雄(教職課程 教授)

平成22年4月1日入職

【平成27年3月31日付】

内藤 文隆(キャリア形成支援室 特任准教授)

平成22年12月1日入職

### ○昇任

【平成27年4月1日付】

水澤 寛太(増殖生物学講座 魚類分子内分泌学研究室 講師から准教授)

吉永 龍起(増殖生物学講座 水族増殖学研究室 講師から准教授)

三宅 裕志(環境生物学講座 水圏生態学研究室 講師から准教授)

### ○採用

【平成27年4月1日付】

西村 宗一郎(教職課程 教授)

## 人事異動【職員】

### ○退職

【平成27年3月31日付】

菊地 晴美(事務室総務課職員)

昭和48年4月1日入職

【平成27年12月31日付】

加藤 由香(事務室教務・学生課職員)

平成21年4月1日入職

### ○配置換

【平成27年4月1日付 着任】

押田 侑子(事務室教務課職員)理学部事務室より

【平成27年4月1日付 着任】

野呂 礼子(事務室総務課職員)看護学部事務室より

【平成27年4月1日付 転任】

相良 麗子(事務室教務課職員)大学病院事務部へ

### ○昇任

【平成27年4月1日付】

千葉 啓子(事務室教務・学生課 課長補佐から 課長へ)

石渡 真由美(事務室教務課 一般職から主任へ)

## 北里大学海洋生命科学部だより

編集・発行：海洋生命科学部だより編集委員会

〒252-0373 神奈川県相模原市南区北里1-15-1

TEL 042-778-7905 FAX 042-778-5010

<http://www.kitasato-u.ac.jp/mb/>

E-mail: [kaiyo@kitasato-u.ac.jp](mailto:kaiyo@kitasato-u.ac.jp)

平成28年3月17日